

Информационные технологии в медицине

Подходы к анализу отклонений медицинских технологических процессов

А.И. Молодченков, М.В. Хачумов, Л.П. Яшина

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы автоматизированного анализа медицинских технологических процессов (МТП), обобщающих опыт работы врачей в формализованном виде. Предлагаемый подход позволяет проводить более тонкий и аргументированный анализ МТП с целью своевременного выявления и оценки величины отклонений текущего лечебного процесса от стандарта и имеющихся прецедентов с известными исходами. Для оценки отклонений используется алгоритм DTW, позволяющий определять расстояния между парой сравниваемых процессов, содержащих информацию о выполнении или невыполнении определенных стандартом действий. Процесс лечения представлен в виде замкнутой интеллектуальной системы управления, в которой объектом служит пациент, а управление осуществляется врачом на основе рекомендаций, получаемых в результате автоматизированного анализа МТП.

Ключевые слова: медицинский технологический процесс, управление, анализ отклонений.

Введение

Изучение возможностей управления медицинскими технологическими процессами (МТП) как потоками лечебно-диагностических мероприятий позволяет интерпретировать текущие ситуации и рекомендовать лицам, принимающим решение (ЛПР), адекватные действия. В связи с этим наблюдается повышенный интерес как к автоматизации работы подразделений лечебных учреждений (бухгалтерия, регистратура, кабинеты, склад медикаментов и др.), так и более тонкому анализу и формализованному представлению лечебного процесса с целью поддержки деятельности врачей.

Первое направление достаточно глубоко проработано – созданы мощные медицинские информационные системы в поддержку организации лечебно-диагностических процессов. Поддается оптимизации упорядочение потоков пациентов по лечебным кабинетам и местам путем имитацион-

ного моделирования с целью выявления узких мест. Например, в работе [Хачумов В.М., 2010] дается пример решения задачи оптимизации работы поликлиники как задачи массового обслуживания. Задача решается средствами языка GPSS и сетей Петри, на основе которых получают информацию о загрузке отдельных участков, наличии очередей, средней длительности пребывания пациента в системе и другие данные. По результатам GPSS-отчета принимаются решения об устранении узких мест в организации медицинского технологического процесса (МТП), включая ликвидацию очередей, перераспределение потоков работ, улучшение режимов работы (загрузки) врачей. Решение способствует улучшению работы лечебного заведения.

Второе направление проработано существенно меньше и требует дополнительных исследований для оценки отдельных этапов МТП и выработки рекомендаций в поддержку действий ЛПР. В настоящее время созданы средства анализа и

выявления с достаточно высокой точностью и полнотой степени заболевания, например, путем применения различных классификаторов при наличии достаточно больших и качественных обучающих выборок [Хачумов М. В., 2014а], [Хачумов М. В., 2014б], [Молодченков А.И. и др., 2014]. Это направление имеет ряд особенностей и представляет для нас наибольший интерес.

Процесс лечения, несмотря на установленные стандарты, всегда носит индивидуальный (персонифицированный) характер. Возможны и допустимы различные отклонения от лечебного стандарта в зависимости от меняющихся условий оказания медицинской помощи, наличия сопутствующих заболеваний и т.д. Поэтому возникают не только задачи воспроизведения стандартного хода лечения, но и оперативного управления процессом в условиях возможных отклонений. Здесь управление рассматривается как определенная последовательность действий (операций) лечащего врача, которое основывается на состоянии конкретного больного, стандарте лечения, анализе баз знаний по лечению пациентов, т.е. прецедентов.

В простейшем случае под управлением МТП, которое справедливо может быть отнесено к «интеллектуальному управлению», будем понимать действия, направленные на достижение конечной цели лечения через обнаружение и оценку нежелательных отклонений от стандартного плана лечения с учетом реального состояния пациента. Это направление, которое менее всего исследовано, рассматривает ход лечения пациента как персонализированный МТП. Целью исследований, проводимых в ИСА РАН, является разработка комплекса методов и инструментальных средств, обеспечивающего поддержку лечащего врача в виде согласованных со стандартом предложений (рекомендаций) по организации процессов лечения в соответствии с реальным состоянием пациента.

На текущем этапе исследований рассматривается задача анализа МТП, полученного на основе обобщения историй лечения отдельных пациентов, и получения формализованной оценки отклонения лечебно-диагностического процесса от стандартного плана лечения и имеющихся прецедентов. Предполагается, что решение этой задачи обеспечит в дальнейшем принципиально новые возможности проведения лечебного процесса.

1. Состояние вопроса формализации и оптимизации МТП

Основы формализации описания и применения МТП были заложены в работах [Назаренко

Г.И., Осипов Г.С., 2005], [Назаренко Г.И., Осипов Г.С., 2006]. Направление получило некоторое развитие в серии работ [Молодченков А.И., 2009а], [Молодченков А.И., 2009б], [Молодченков А.И. и др., 2014], [Г.И. Назаренко и др., 2010], которые затронули вопросы автоматического построения обобщенной схемы МТП по отдельным нозологиям на основе прецедентной информации. Пример фрагмента обобщенного МТП в виде сети Петри показан на рисунке 1.

На рисунке представлены следующие элементы сети, необходимые для построения маршрутов лечения: переходы «регистрация», «прием у кардиолога» соответствуют конструкциям «И-разделение», «Диагноз подтвержден», «Диагноз не подтвержден» и «Принятие решения о хирургическом вмешательстве» – «И-слияние»; позиции s_4 , s_5 , s_8 и s_{10} – «ИЛИ-разделение», s_6 , s_9 и s_{11} – «ИЛИ-слияние». К моменту написания статьи заложены основы автоматического построения персонифицированного МТП из имеющихся баз прецедентов. Задача представляется достаточно сложной и является предметом актуальных исследований [Г.И. Назаренко и др., 2010], [Молодченков А.И., 2009а].

Персонифицированный МТП лечения конкретной болезни в простейшем случае получается из множества типовых элементов путем исключения «лишних» операций и переходов. МТП строится путем извлечения знаний из баз знаний и данных лечения большого числа пациентов. В обобщенном МТП описывается заранее весь набор типовых решений, а также условий, при которых может быть применено каждое из них.

Врач анализирует текущую ситуацию и выбирает стратегию лечения с учетом особенностей пациента, далее автоматически проверяется соответствие исходных данных условиям применимости типовых решений (стратегий и правил). При выполнении всего комплекса условий выполняется выбранная стратегия. Любой путь на обобщенном графе МТП, реализуемый во времени, назовем «траекторией лечения» (в дальнейшем «траекторией»). Она характеризуется, в общем случае, временными отсчетами, связанными с моментами применения врачом определенных операций, и характеризуется качественными показателями (признаками), определяющими в совокупности текущее состояние пациента.

Более сложная и пока не решенная задача – это оптимизация персонализированного МТП непосредственно в процессе лечения. Строгому решению поддаются только очень простые процессы, связанные с построением оптимальных

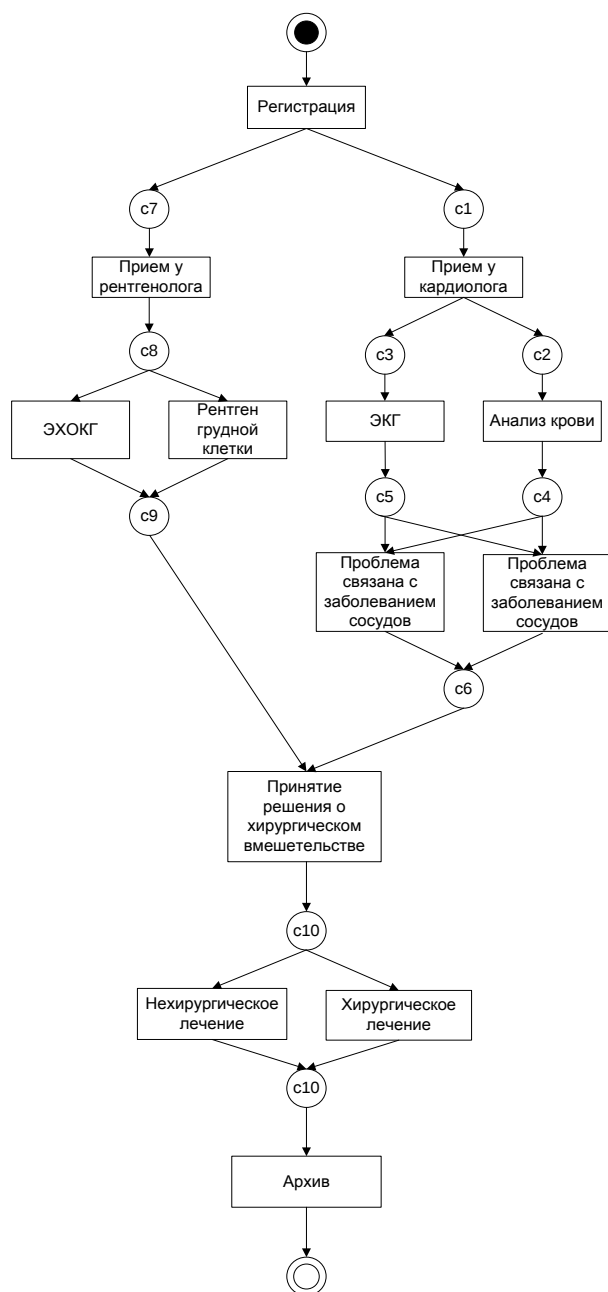


Рис. 1. Пример формализации МТП в виде сети Петри.

медицинских конвейеров с учетом характеристик оборудования под типовое лечение. Здесь объектом исследования послужил конвейер (поточная многопозиционная линия) Крымского республиканского медицинского центра реабилитации зрения (<http://eyecenter.com.ua/about/index.htm>), на котором одновременно могут находиться до 100 пациентов. Их обслуживают свыше 130 аппаратов, входящих в конвейерный цикл, причем пациент может в течение 1,5 часа получить комплексное

лечение на 12-22 аппаратах. Предложены средства формализации описания работы конвейеров и их оптимизации под обслуживание конкретного пациента [Хачумов В.М., 2009].

МТП в общем случае оперирует объектами с большими размерностями входных векторов признаков и таким сложным выходным показателем как качество лечения. Конечно, действия ЛПР целесообразно принимать исходя из известных прецедентов и стандарта, но при этом существует доля риска, поскольку решения основываются на нечеткой оценке состояния пациента, что существенно влияет на ход МТП. Критериями качества МТП, входящих в целевую функцию, являются:

- 1) снижение (вплоть до полного исключения) ошибок медперсонала,
- 2) минимизация расходов на лечение (например, за счет сокращения срока госпитализации),
- 3) улучшение клинических результатов и др.

Главным критерием оценки МТП является состояние пациента, которое часто не поддается количественной оценке и нуждается, например, в привлечении методов нечеткой логики. Для постановки задачи оптимизации МТП необходимо сформировать математическую модель процесса. На основе анализа процесса лечения конкретной болезни строится взвешенный граф процесса лечения. Веса определяются длительностью операции, ее стоимостью и эффективностью лечения.

После построения математической модели необходимо определить метод решения задачи оптимизации. Один из них связан с поиском оптимального пути на графе, как по отдельным критериям, так и по обобщенному критерию. Возможно применение нейронных сетей для оптимизации технологических процессов и прогнозирования их характеристик.

2. Управление лечением на основе обобщенного МТП

Система управления лечением может быть представлена типовой схемой интеллектуального управления, основанной на знаниях (Рис. 2).

Работа динамической интеллектуальной системы подразумевает своевременную реакцию лечащего врача на изменение текущих показателей и учитывает наличие переходных процессов между состояниями. Это накладывает ограничения и на время функционирования механизмов анализа и измерения текущих параметров для своевременно обновления базы данных (замыкания).

Знания обобщаются в виде персонализированной схемы типового процесса и правил, описы-

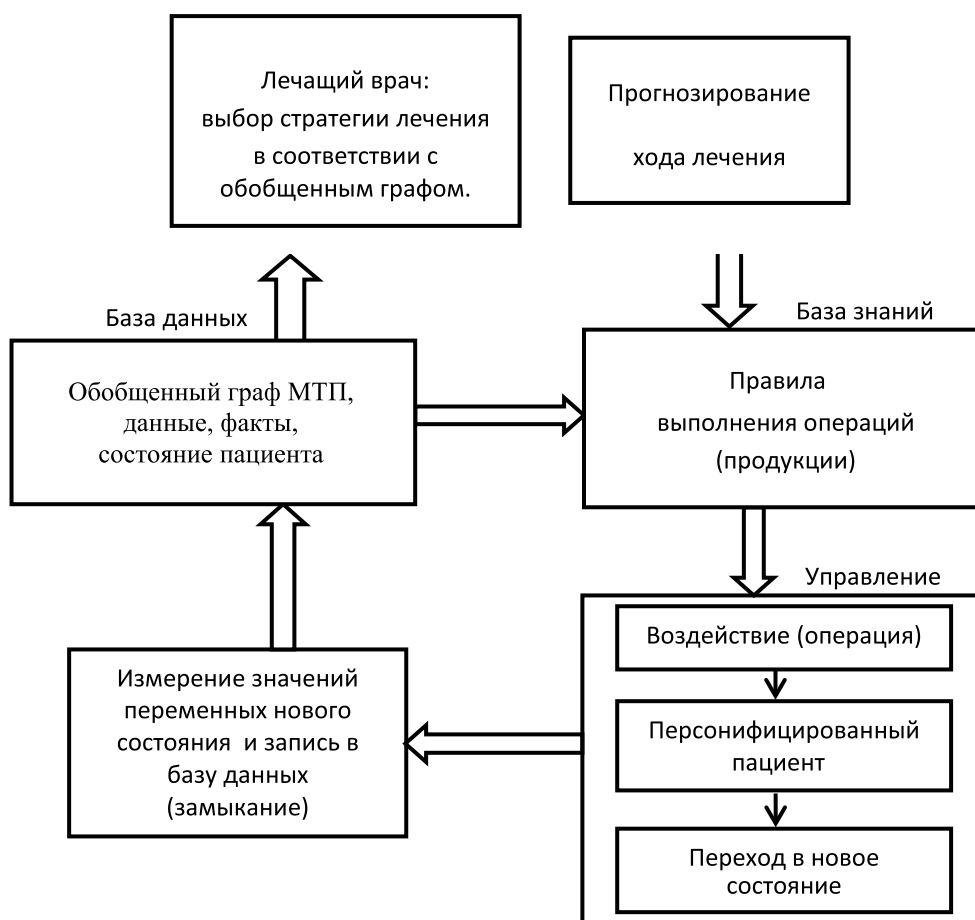


Рис. 2 Схема интеллектуального анализа и управления лечением

вающих взаимное влияние входных воздействий (операций) на выходной показатель (состояние пациента). Персонализированная схема есть фактически принятый врачом план лечения, который реализуется во времени через последовательность воздействий (операций) для конкретного пациента, т.е. в виде траектории.

Как отмечалось ранее, план лечения в общем случае может содержать новые, неизвестные ранее, т.е. не отраженные в обобщенном графе, последовательности операций. Автоматическое извлечение данных обеспечивает построение возможно избыточного, МТП с множеством возможных локальных решений, но неизменно приводящих к положительному эффекту лечения.

В соответствии принципами искусственного интеллекта реализация механизма непрерывного управления основана на выполнении следующих функций (Рис. 2):

1) установка ЛПР целей (целеполагание), критериев и стратегий управления;

- 2) обращение к базе знаний и сопряженной с ней базе данных;
- 3) чтение текущих параметров из базы знаний и базы данных;
- 4) выдача запроса на формирование плана (последовательности правил выбора управлений);
- 5) получение плана (выполнение расчетов целевых функций, прогнозирование, планирование);
- 6) обработка плана: получение расчетных и экспериментальных данных, сравнение текущей глобальной ситуации с расчетной, выдача запроса на поиск применимых правил и отношений (применимые правила – правила, условия которых выполнимы на текущем состоянии);
- 7) передача ЛПР выбранного продукционного правила на выполнение;
- 8) синхронизация внутренних тактов системы с реальным временем;

9) измерение параметров нового состояния (закрытие) и их запись в базу данных.

Управление МТП имеет принципиальные особенности, определяемые различием между техническими и биологическими системами. В последнем случае неприменимы классические приемы автоматического управления, основывающиеся на неизменности модели объекта и устойчивости переходных процессов. Принципиальное отличие в том, что объектом системы и управляющим звеном являются соответственно пациент и врач. Программно-аппаратная система служит лишь для информационной и технической поддержки действий врача, которому доверено принимать решения.

Управление реализуется системой правил, составленных на основе обобщенного МТП и определяющих в точках отсчета выбор того или иного направления. Поскольку нет заранее определенных переходных процессов, то траектория лечения может отличаться от установленных ранее схем лечения, отраженных в обобщенном МТП. Каждая новая реализация траектории требует учета и приводит к уточнению обобщенного МТП.

Совершенствование процессов управления МТП требует новых более совершенных методов, основанных на автоматизированном извлечении и обобщении знаний, привлечении интеллектуальных технологий и методов поддержки принятия решений.

3. Выявление возможных отклонений траектории лечения от стандарта МТП

Чем более полно в технологическом регламенте учтены закономерности, связывающие условия проведения МТП с его выходными показателями, тем выше вероятность нормального протекания процесса лечения, и, соответственно, более эффективна работа лечащего врача. К сожалению, практически все МТП основаны на неполных знаниях о закономерностях и, поэтому, не могут обеспечить «оптимальное» управление лечением пациентов. Возможны отклонения от оптимального (или рекомендуемого МТП), что связано с изменением тяжести состояния пациента, отсутствием или заменой одних лекарственных препаратов или медицинских приборов другими, влиянием других заболеваний или иных причин, приводящих к отклонению от заранее выбранного пути на типовом МТП.

Качественно проведенная экспертная оценка траектории, как пути на графе с временными метками, позволит выявить и оценить различные отклонения от хода лечебно-диагностического

процесса вследствие как объективных, так и субъективных причин и устранить их в последующих реализациях МТП. Отклонениями считаются [Adriansyah, A., 2014], [S. Leemans et al., 2015]: невыполнение действия, которое обязательно должно быть выполнено в технологическом процессе, несоблюдение последовательности выполнения действий, выполнение действий, не предусмотренных технологическим процессом, выполнение всех действий из условного маршрута и др. В работе [S. Leemans et al., 2014] описан метод обнаружения и визуализации отклонений, связанных с выполнением действий, не входящих в модель технологического процесса, и не выполнением действий, которые необходимо выполнить. В МТП стоит выделить отклонения, связанные с нарушением наложенных временных ограничений на выполнение действий. Например, некоторое действие необходимо выполнить в первые сутки после поступления пациента. Отклонением в этом случае является ситуация, когда действие было выполнено позже указанного временного интервала.

Рассмотрим метод обнаружения отклонений, связанных с выполнением и невыполнением действий, предусмотренных МТП. Для вычисления величины отклонения или расстояния применим метод динамического программирования (DTW - Dynamic Time Warping). Метод позволяет найти близость между двумя последовательностями измерений за некоторый промежуток времени. В общем случае эти последовательности могут быть разной длины, и измерения могут производиться с разной скоростью [Ing-Jr Ding et al., 2013].

Алгоритм DTW вычисляет оптимальную последовательность трансформации (деформации) времени между двумя временными рядами [А.А. Романенко, 2011]. Пусть заданы две числовые последовательности $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ $(b_1, b_2, \dots, b_m)$.

Построим матрицу отклонений:

$$\|d_{ij}\|, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m, \quad d_{ij} = |a_i - b_j|.$$

Минимальное расстояние R между последовательностями определим при помощи алгоритма динамического программирования и следующего критерия локальной оптимизации:

$$r_{ij} = d_{ij} + \min(r_{i-1,j-1}, r_{i-1,j}, r_{i,j-1})$$

где r_{ij} - элемент матрицы деформаций $\|r_{ij}\|$, определяющий локальное расстояние между элементами a_i и b_j .

Путь трансформации начинается в левом верхнем углу и заканчивается в правом нижнем матрицы $\|r_{ij}\|$. Величина R определяется суммой

Таблица 1

Процессы лечения бронхиальной астмы

Операции процесса лечения по стандарту		Отчет о выполнении		
1	Продолжительность КД	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3
Приемное отделение/ОРИТ				
2	Перевод из приемного отделения в коечное / ОРИТ через 2 часа или меньше	Выполнено	выполнено	Выполнено
3	Осмотр реаниматологом	выполнение не требуется	выполнение не требуется	Выполнено
4	ФВД или ПСВ	Выполнено	не выполнено	не выполнено
5	Пульсоксиметрия	Выполнено	выполнено	Выполнено
6	Рентгенография грудной клетки	Выполнено	выполнено	Выполнено
1-е сутки ОРИТ/коечное отделение				
7	Пульсоксиметрия	выполнение не требуется	выполнение не требуется	Выполнено
8	Пикфлоуметрия	выполнено	выполнено	не выполнено
9	Исследование газов крови	выполнение не требуется	выполнение не требуется	выполнено
10	Ингаляционные β_2 -агонисты короткого действия или формотерол	выполнено	выполнено	выполнено
11	Системные ГКС	выполнение не требуется	выполнено	выполнено
12	Оксигенотерапия	выполнение не требуется	выполнение не требуется	выполнено
2-7-е сутки коечное отделение				
13	Консультация врача ЛФК	выполнено	выполнено	выполнено
14	Консультация физиотерапевта	выполнено	выполнено	выполнено
15	Пикфлоуметрия	выполнено	выполнено	выполнено
16	ФВД	выполнено	выполнено	не выполнено
17	Системные ГКС	выполнение не требуется	выполнено	Выполнено
18	Ингаляционные ГКС	выполнено	выполнено	Выполнено
19	Ингаляционные 2-агонисты	выполнено	выполнено	Выполнено

20	Ингаляционные холинолитики	выполнено	выполнение не требуется	Выполнено
21	Оксигенотерапия	выполнение не требуется	выполнение не требуется	выполнение не требуется
8-21-е сутки коечное отделение				
22	Пикфлоуметрия	выполнено	выполнено	Выполнено
23	ФВД	выполнено	выполнено	Выполнено
24	Системные ГКС	выполнение не требуется	выполнено	выполнение не требуется
25	Ингаляционные ГКС	выполнено	выполнено	Выполнено
26	Ингаляционные 2-агонисты	выполнено	выполнено	Выполнено
27	Ингаляционные холинолитики	выполнение не требуется	выполнение не требуется	Выполнено
28	Оксигенотерапия	выполнение не требуется	выполнение не требуется	выполнение не требуется

минимальных локальных расстояний и нормируется путем деления на количество элементов пути.

Данные представлены Медицинским центром ЦБ РФ.

Величина деформации служит оценкой расстояния между последовательностями. Рассмотрим пример применения алгоритма DTW для сравнения процессов лечения заболевания бронхиальной астмой, представленный в таблице 1. Здесь представлен шаблон процесса лечения пациентов в соответствии со стандартом и отчеты выполнения реальных процессов лечения трех пациентов.

Для формализации отчетов о выполнении процессов лечения введем следующие переменные: «выполнено» $\rightarrow \alpha=1$, «не выполнено» $\rightarrow \beta=-1$, «не требуется» $\rightarrow \delta=0$.

Отклонение между «выполненной» и «не выполненной» операциями определим как $|\alpha-\beta|/2=|\beta-\alpha|/2=1$, а отклонение между «выполненной»\«не выполненной» операциями и «не требуется», соответственно $|\alpha-\delta|/2=|\alpha-\delta|/2=0.5$.

Занесем полученные таким образом показатели процессов лечения в виде последовательностей в таблицу 2.

Полученные последовательности теперь можно сравнивать между собой. Применим метод DTW (1)-(2) для расчета отклонений от процесса лечения стандарта. Задача оптимизации состоит в поиске пути, обеспечивающего экстремум целевой функции. В силу неупорядоченности параметров основной метод структурной оптимизации

состоит в последовательном переборе возможных вариантов.

На рисунке 3 представлен процесс сравнения процесса лечения Пациента 1 (П1) со стандартом (СТН) как процесс сравнения двух последовательностей по методу DTW, использующего схему динамического программирования. Цветом выделен путь в таблице, определяющий минимальную величину отклонения R. В данном случае $R=4.68$.

Применим метод DTW для расчета отклонений процессов лечения Пациентов 1 и 2 (соответственно П1 и П2). Все необходимые данные для расчета и процесс сравнения приведены на рисунке 4.

Расчет расстояния по установленной схеме дает значение $R=0.79$. Результаты парного сравнения всех представленных в таблице 2 последовательностей лечения приведены в таблице 3.

Таблица 3 служит для демонстрации возможности измерения отклонений различных процессов лечения (траекторий) от стандарта и между собой.

Заключение

В работе сделан определенный шаг, направленный на создание средств поддержки работы врача в процессе выполнения МТП. На текущем этапе исследований выбраны и изучены методы, предназначенные для анализа и оценки отклонений, связанных с выполнением и невыполнением действий для простейших МТП. Задача решается на имеющемся обобщенном графе МТП и сводится к оценке

Таблица 2

Сводная таблица формализованных показателей выполнения МТП

Номер операции	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3	Стандарт
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	-1	-1	1	1
4	1	0	0	1
5	1	1	1	1
6	1	1	1	1
7	-1	-1	1	1
8	1	1	0	1
9	-1	-1	1	1
10	1	1	1	1
11	-1	1	1	1
12	-1	-1	1	1
13	1	1	1	1
14	1	1	1	1
15	1	1	1	1
16	1	1	0	1
17	-1	1	1	1
18	1	1	1	1
19	1	1	1	1
20	1	-1	1	1
21	-1	-1	-1	1
22	1	1	1	1
23	1	1	1	1
24	-1	1	-1	1
25	1	1	1	1
26	1	1	1	1
27	-1	-1	1	1
28	-1	-1	-1	1

	III	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1
CTH		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	1	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	2	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	3	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	4	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	5	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	6	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	7	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	8	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	9	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	10	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	11	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	12	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	13	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	14	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	15	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	16	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	17	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	18	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	19	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	20	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	21	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	22	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	23	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	24	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	25	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	26	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	27	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10
1	28	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10

Рис. 3 Расчет отклонений процесса лечения от стандарта (на примере Пациента 1)

отклонений маршрута лечения от имеющихся траекторий. Это помогает ЛПР в выборе рационального пути лечения, осуществляемого с применением стратегий и правил. В реальности, необходимо перебрать достаточно большое количество допустимых траекторий, что может занять достаточно большое время, в то время как надо принимать оперативное лечение. Для сокращения времени принятия решений используются упрощенные подходы, к которым можно отнести и метод DTW.

Для непрерывного решения задачи управления МТП в интерактивном режиме предлагается

замкнутая схема интеллектуального управления, объектом которой является пациент. Следует отметить, что реальные МТП и их последовательности помимо указания на выполнение, невыполнение или пропуск операций должны иметь строгую привязку ко времени, что, несомненно, усложнит процесс сравнения и определения расстояний между последовательностями лечения. Изучению подобных процессов авторы намерены посвятить дальнейшие исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Проекта 13-07-12162 офи_м «Исследование и раз-

Таблица 3

Отклонение процессов лечения (парные расстояния R)

	Стандарт	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3
Стандарт	0	4,68	4,20	1,55
Пациент 1	4,68	0	0,79	1,51
Пациент 2	4,20	0,79	0	1,158
Пациент 3	1,55	1,51	1,158	0

	П1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	
П2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	1	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10	
1	2	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	10	
-1	3	1	1	0	1	2	2	1	2	2	3	3	3	4	5	6	6	5	6	7	7	6	7	8	7	8	9	8	8	
0	4	1.5	1.5	0.5	0.5	1	1.5	1.5	1.5	2	2.5	3	3.5	3.5	4	4.5	5	5.5	5.5	6	6.5	6.5	6.5	7	7.5	7.5	8	8.5	8.5	
1	5	1.5	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	2.5	2	3	4	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.5	5.5	5.5	6.5	6.5	6.5	7.5	8.5	
1	6	1.5	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	2.5	2	3	4	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.5	5.5	5.5	6.5	6.5	6.5	7.5	8.5	
-1	7	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	4	4.5	4.5	3.5	4.5	5.5	5.5	4.5	5.5	6.5	5.5	6.5	7.5	6.5	6.5	
1	8	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5	2.5	3	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	7	
-1	9	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5	2.5	3	3	3	2	3	4	4	3	4	5	4	5	6	5	5	5	
1	10	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	0.5	1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	6	5	
1	11	3.5	3.5	4.5	2.5	2.5	2.5	3.5	1.5	2.5	0.5	1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	6	
-1	12	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	1.5	1.5	0.5	0.5	1.5	2.5	2.5	2.5	1.5	2.5	3	3	2	3	4	3	4	5	4	4	
1	13	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	3	3	4	5	
1	14	4.5	4.5	5.5	3.5	3.5	3.5	4.5	2.5	3.5	1.5	2.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	3	3	4	5	
1	15	4.5	4.5	5.5	3.5	3.5	3.5	4.5	2.5	3.5	1.5	2.5	3.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	3	3	4	5	
1	16	4.5	4.5	5.5	3.5	3.5	3.5	4.5	2.5	3.5	1.5	2.5	3.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	3	3	4	5	
1	17	4.5	4.5	5.5	3.5	3.5	3.5	4.5	2.5	3.5	1.5	2.5	3.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	3	3	4	5	
1	18	4.5	4.5	5.5	3.5	3.5	3.5	4.5	2.5	3.5	1.5	2.5	3.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	3	3	4	5	
1	19	4.5	4.5	5.5	3.5	3.5	3.5	4.5	2.5	3.5	1.5	2.5	3.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	3	3	4	5	
-1	20	5.5	5.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	1.5	2.5	2.5	1.5	2.5	3	2	3	4	3	3	
-1	21	6.5	6.5	4.5	5.5	5.5	5.5	3.5	4.5	2.5	3.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.5	1.5	2.5	3.5	1.5	2.5	3.5	2	3	4	3	3	
1	22	6.5	6.5	5.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	4	
1	23	6.5	6.5	6.5	4.5	4.5	4.5	5.5	3.5	4.5	2.5	3.5	3.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	4
1	24	6.5	6.5	7.5	4.5	4.5	4.5	5.5	3.5	4.5	2.5	3.5	4.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	4
1	25	6.5	6.5	7.5	4.5	4.5	4.5	5.5	3.5	4.5	2.5	3.5	4.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	4
1	26	6.5	6.5	7.5	4.5	4.5	4.5	5.5	3.5	4.5	2.5	3.5	4.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2	2	3	4
-1	27	7.5	7.5	6.5	5.5	5.5	5.5	4.5	4.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	1.5	2.5	1.5	2.5	3	2	2	2
-1	28	8.5	8.5	6.5	6.5	6.5	6.5	4.5	5.5	3.5	4.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	1.5	2.5	2.5	2.5	0.5	1.5	2.5	1.5	2.5	3.5	2	2	2

Рис. 4 Расчет отклонений процессов лечения (на примере Пациентов 1 и 2)

работка методов и алгоритмов синтеза медицинских технологических процессов на основе прецедентной информации» и Проекта ОНИТ «Исследование методов автоматизированного анализа исполнения медицинских технологических процессов»

Литература

1. Молодченков А.И. Автоматический синтез типовых схем лечения на основе медицинских данных. X Ежегодная специализированная конференция и выставка «Информационные технологии в медицине» / Официальный каталог. Материалы конференции. / - М.: «Консэф», 2009, с. 148-156.
2. Молодченков А.И. Формализация описания лечебно-диагностических процессов. Нечеткие системы и мягкие вычисления: сб. ст. Третьей Всероссийской научной конференции: В 2 т. Т I, Волгоград, 2009, с. 103-109.
3. Молодченков А.И., Фраленко В.П., Хачумов В.М. Классификация степени тяжести заболевания на основе искусственных нейронных сетей. – Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика, №2, 2014, с.150-156.
4. Назаренко Г.И., Осипов Г.С. Основы теории медицинских технологических процессов. Ч. 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 144 с.
5. Назаренко Г.И., Осипов Г.С. Основы теории медицинских технологических процессов. Ч. 2. Исследование медицинских технологических процессов на основе интеллектуального анализа данных. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 144 с.
6. Назаренко Г.И., Осипов Г.С., Назаренко А.Г., Молодченков А.И. Интеллектуальные системы в клинической медицине. Синтез плана лечения на основе прецедентов // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2010, №1, С24-35.
7. Романенко А.А. Выравнивание временных рядов: прогнозирование с использованием DTW /Машинное обучение и анализ данных, 2011. Т. 1, №1, с.77-85.
8. Хачумов В.М. Модели конвейерного медицинского технологического процесса. – Искусственный интеллект и принятие решений, №3, 2009, с.25-32.
9. Хачумов В.М., Погодин С.В. Моделирование работы лечебного учреждения как системы

- массового обслуживания. – Искусственный интеллект и принятие решений, №1, 2010, с.49-56
10. *Хачумов М.В.* Применение деревьев решений как инструмента для определения степени заболевания – Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий» (Новосибирск, 7 марта 2014). – Новосибирск: издательство ЦРНС, 2014, с. 154-159.
 11. *Хачумов М.В.* Применение искусственных нейронных сетей для автоматической классификации степени заболевания – Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные аспекты современной науки» (Белгород, 30 сентября 2014), часть 1, 2014, с. 203-208.
 12. *Adriansyah. A.*: Aligning Observed and Modeled Behavior. Ph.D. thesis, Eindhoven University of Technology (2014).
 13. *Ing-Jr Ding, Chih-Ta Yen, Yen-Ming Hsu.* Developments of Machine Learning Schemes for Dynamic Time-Wrapping-Based Speech Recognition // *Mathematical Problems in Engineering*. 2013.
 14. *Leemans S.J.J., Fahland D., van der Aalst W.M.P.* Process and Deviation Exploration with Inductive Visual Miner. In L. Limonad and B. Weber, editors, *Business Process Management Demo Sessions (BPM D 2014)*, volume 1295 of *CEUR Workshop Proceedings*, pages 46-50. CEUR-WS.org, 2014.
 15. *Leemans S., Fahland D., van der Aalst W.M.P.* Exploring Processes and Deviations. In F. Fournier and J. Mendling, editors, *Business Process Management Workshops, International Workshop on Business Process Intelligence (BPI 2014)*, *Lecture Notes in Business Information Processing*, Springer-Verlag, Berlin, 2015.

Молодченков Алексей Игоревич. М.н.с. ИСА ФИЦ ИУ РАН. Окончил в 2005 г. Институт программных систем «Университет города Переславля. Количество печатных работ: 37 (в т.ч. 1 монография). Область интересов: искусственный интеллект, машинное обучение, интеллектуальный анализ данных, анализ процессов, медицинские технологические процессы, медицинская информатика, экспертные системы, интеллектуальные системы, системы поддержки принятия решений.

E-mail: aim@isa.ru, aim@tesyan.ru

Хачумов Михаил Вячеславович. Н.с. ИСА ФИЦ ИУ РАН. К.ф.-м.н. Окончил в 2009 г. РУДН. Количество печатных работ: 38. Область научных интересов: методы искусственного интеллекта, интеллектуальное управление, обработка изображений и распознавание образов. E-mail: khmike@inbox.ru.

Яшина Любовь Петровна. В. н.с. ИСА ФИУ ИУ РАН. Канд. биол. Наук. Окончила в 1980 г. МГУ. Количество печатных работ: 30. Область научных интересов: использование информационных технологий для управления качеством медицинской помощи, моделирование и стандартизация медицинских технологических процессов. E-mail: lyashina1@yandex.ru.